

Krob, Josef

## Prostor jako vztah geometrie a fyziky

*Sborník prací Filozofické fakulty brněnské univerzity. B, Řada filozofická.*  
1996, vol. 45, iss. B43, pp. [25]-33

ISBN 80-210-1442-3

ISSN 0231-7664

Stable URL (handle): <https://hdl.handle.net/11222.digilib/107279>

Access Date: 04. 12. 2024

Version: 20220831

Terms of use: Digital Library of the Faculty of Arts, Masaryk University provides access to digitized documents strictly for personal use, unless otherwise specified.

JOSEF KROB

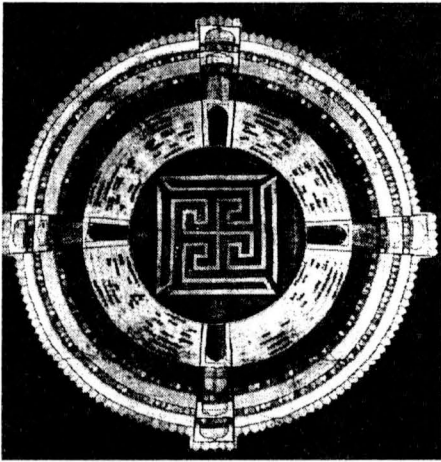
## PROSTOR JAKO VZTAH GEOMETRIE A FYZIKY

Jako závažnější problém — ve srovnání s problematikou prostoru — bývá v tradiční i současné filosofii a přírodní vědě většinou chápán čas. Možná je to pohled věcně oprávněný, možná je to jen důsledek našeho antropocentrismu a existenciálního prožívání a uvědomování si času. Důsledkem je v každém případě odsunutí problému prostoru na druhé místo. Přesto ani v případě prostoru nemůžeme hovořit o nějakém homogenním, jednoznačném a neproblémovém pochopení, ve kterém bychom nenalezli žádné otazníky.

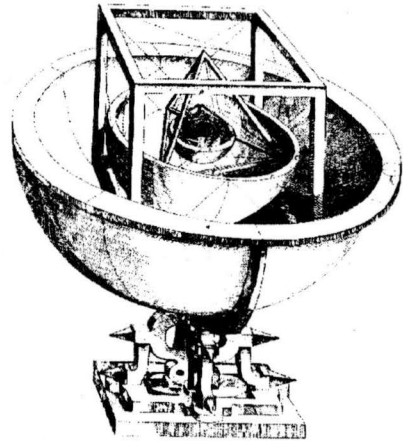
Jednu z prvních podob, ve které bychom mohli představy o prostoru nalézt, můžeme nazvat „intuitivně nazíravou“. Je to ta úroveň úvah, kdy nám připadá samozřejmé, že vše, o čem mluvíme, má své *místo*. A netýká se to jen hmotných objektů, ale i psychických stavů a abstraktních pojmů. Mluvíme-li o lásce, klademe často ruku na srdce, kde „sídlí“, řečtí bohové mají svou olympskou adresu a dokonce i samotná duše je podle Descarta lokalizovaná v šišince mozkové. Zkrátka, existuje-li něco, existuje to někde, všechno je na svém *místě*.

Od nazíravého se dostáváme k „intuitivně pojmovému“ vyjádření, kdy je prostor velmi často ztotožňován s prázdnotou, kterou je možné chápat současně dvěma způsoby. V atomistické interpretaci světa je prázdno protikladem bytí: „Neexistuje nic, než atomy a prázdno“, říká Démokritos, kterému prázdnota slouží jako doplňkový princip, protiklad absolutně tuhých atomů, které potřebují „volnost“, aby se mohly pohybovat. Podobně můžeme prázdno pochopit jako předpoklad bytí a zůstat tak v souladu s nazíravým pochopením prostoru tvrzením, že „když něco je, je to lokalizovatelné“. Prostor, prázdnota je tak před jakýmkoli jsoucnem, je jeho podmínkou.

Teprve až velmi pozdě, až od 19. století, se vznikem neeukleidovských geometrií a ve fyzice s formulací teorie relativity, se začíná uplatňovat třetí pohled na prostor, a to „teoreticko pojmový“ v podobě, kterou bychom mohli zařadit k relačním představám o prostoru.



Indická malba — vesmír



Podle Platóna se geometrické učení dostává k základním pěti útvarům, kterými jsou: krychle, čtyřstěn, osmistěn, dvanáctistěn, dvacetistěn. Kepler tyto tvary později vkládá mezi sféry planet.

Hledání našeho místa ve vesmíru a jakákoli řeč o prostoru jako o další základní komponentě světa, je vždy spojena s určitými geometrickými představami. Jak se tyto geometrické představy mají k fyzikální realitě je otázka, která se v různých podobách — skrytě či otevřeně — objevuje v průběhu celých dějin kosmologie.

Začíná to ignorováním vzájemných vztahů mezi geometrií a fyzikální realitou. Pýthagorovci uvažují o uspořádání těles ve vesmíru zcela svobodně, fyzikální realita pro ně znamená pouze jediné omezení: volně vytvářené geometrické modely musí být schopny reprodukovat empirická pozorování skutečnosti. Jednotlivé, spekulativně vytvořené obrazy prostorového uspořádání si však nijak nenárokují být adekvátním modelem skutečnosti, uspořádání skutečných nebeských těles.

Mohou tak vedle sebe existovat různé systémy, které mají společné pouze to, že respektují pozorované pohyby. Vedle geocentrického systému vytváří příslušník pýthagorovské školy Filoláos v 5. st. př. n. l. systém heliocentrický s kulatou Zemí, která se otáčí kolem své osy, čímž se vysvětlují denní pohyby těles po obloze. Zda se skutečně pohybuje Země, nebo tělesa na obloze však pýthagorovce v podstatě nezajímalo. **Geometrie neměla s fyzikální realitou nic společného.**

Održení geometrie od fyziky je pravděpodobně také důsledkem rozšířené představy o způsobech měřitelnosti prostoru a běžné praxe. Potřeba vyjadřovat vzdálenosti vedla k volbě všeobecně dostupného prvku (např. část lidského tě-

la), který se rychle stal etalonem. Vznik měřítka (použitím násobků a zlomků tohoto etalonu) dal člověku možnost měřit libovolné objekty, vzdálenosti mezi nimi nebo prostě *místo*, kde by objekty mohly být. Měření prostorových intervalů podporuje představu o prostoru jako svébytné skutečnosti nezávislé na materiálních strukturách a tento prostor je totéž co prázdno. Toto prázdno nakonec atomisté učiní základní podmínkou svého strukturního pojetí světa, ve kterém základní prvky (atomy) — protože to jsou absolutně tuhá tělíska — nutně potřebují prostor (= prázdny prostor), aby se mohly pohybovat.

Aristoteles a někteří další byli přesvědčeni, že existence prázdného prostoru není nutná a tělesa se pohybují tak, že mění vzájemně svou polohu, přičemž i prostředí je chápáno jako těleso. To, co se jeví jako prázdny prostor, je ve skutečnosti vyplněno všeprostopující velmi jemnou látkou. V případě Aristotela je látkou kosmického prostředí éter.

Ale ani Aristotelova filosofická a přírodovědecká autorita nezabránila prosazení představy, která více odpovídala názorným smyslovým obrazům, běžné zkušenosti a manipulovatelnosti s „prázdny místem“ a idea prázdnoty jako něčeho, co se reálně v přírodě vyskytuje, se v přírodovědných úvahách zabydlela na dlouhá staletí.

V jednom ohledu se však s příchodem Aristotela situace přece jenom zásadně mění. Podstata této změny spočívá v tom, že Aristoteles se snaží ve výchozím předpokladu důsledně spojovat vysvětlení kosmu a pozemskou fyziku, a uzavírá tak období svobodných úvah a spekulací, jež našly svůj vrchol v Platónově konstrukci. Otázku, jak se pozorovateli na Zemi budou jevit pohyby astronomických objektů v libovolně zkonstruovaných geometrických systémech, Aristoteles nahrazuje dotazem po fyzikální oprávněnosti těchto geometrických systémů, přičemž tato fyzikální legitimnost je postavena na základech empirických znalostí pozemské fyziky.

Aristoteles, který buduje své teorie na základě empirických pozorování, je přesvědčen, že není možné vytvářet libovolné spekulace, ale je nutné geometrické obrazy podřídít fyzikální realitě. Pohyb padajícího tělesa je základem teorie přirozených pohybů a míst a na základě této teorie je postavena představa o prostorovém uspořádání, která musí být nejen dobrým popisem, ale i vysvětlením: látka těles je tvořena čtyřmi živly (oheň, vzduch, voda, země) a samotná tělesa mají snahu dosáhnout svého přirozeného místa — těžká (převažuje v nich voda a země) dole, lehká nahoře. Všechna těžká tělesa ze všech směrů tíhnou ke svému přirozenému místu dole, které se tak stává přirozeným středem. Země, jako jeden ze samotných živlů a centrum, ke kterému míří všechna ostatní tělesa, už sama nemá kam padat, je středem světa a vesmíru. Důkaz o správnosti geocentrického modelu je proveden, **fyzika (fyzikální realita) plně určuje geometrii.**

Dalším a paradoxním důsledkem Aristotelovy snahy o podřízení se empirickým datům, je rozdělení kosmu na dvě části. Přirozené dráhy těles skládajících se z některých čtyř živlů jsou, pokud na ně nepůsobí vnější síla, přímkami prochá-

zející středem. Nebeská tělesa se ovšem nepohybují po přímkách, ale jejich dráhy jsou kružnicemi, které jsou vysvětleny jako přirozený pohyb těles skládajících se z páteho živlu — éteru. Fyzika je tak rozdělena na dvě oblasti: prostor sublunární, tj. oblast čtyř živlů a dostředných či odstředných pohybů po přímce, a prostor supralunární, svět kosmických těles pohybujících se po kružnicích.

V této podobě je Eudoxovou a zejména Ptolemaiovou prací (*Almagest*) završeno úsilí, jehož výsledkem je pochopení (eukleidovské) geometrie jako jediného správného popisu fyzikální reality a jejího prostorového uspořádání.

Když Koperník počátkem 16. století dospívá k heliocentrické soustavě, nacházíme mezi jeho motivy převážně teoretické pohnutky (reforma kalendáře, zjednodušení komplikované konstrukce Ptolemaiovy soustavy), méně pak vlastní pozorování, která ovšem nechybí. Za přípravnou práci k hlavnímu Koperníkově spisu je možno považovat tzv. Malý komentář (*Commentariolus*),<sup>1</sup> ve kterém jsou načrtnuty základní tahy heliocentrické soustavy. Geocentrický systém je tu považován za nedokonalé vyjádření vzájemných vztahů nebeských těles, ovšem nikoli na základě astronomických pozorování, ale pro přílišnou složitost komplikované Ptolemaiovy konstrukce. Hlavním Koperníkovým záměrem zde je tedy zjednodušení této soustavy a k tomuto cíli Koperníka dovádí jeden úkon: záměna místa pozorovatele. Redukování počtu kruhů nutných k vysvětlení pozorovaných pohybů se daří tím, že Země se přemísťuje na jednu ze sfér a místo ve středu zaujímá Slunce. A jinak netknutý model je nadále použitelný podle dosavadních zvyklostí.<sup>2</sup>

Ostatně ani další spisy Mikuláše Koperníka neoplývají empirickými argumenty a spíše lze zaznamenat Koperníkovu důvěru v data změřená již v dobách antické astronomie, která je možné jen doplňovat, či nepatrně zpřesňovat.<sup>3</sup> Pro svou vadu zraku neprovádí pozorování ani Kepler, který dále zpřesňuje způsoby výpočtu planetárních drah a dostává se nakonec k tomu, že opouští myšlenku jejich pohybu po dokonalé kružnici, která je nahrazena adekvátnějším tvarem — elipsou. Primární úvaha (u Koperníka) je teoretická, filosofická a v tomto konkrétním případě novověké formulace heliocentrismu je to **geometrie, která určuje fyzikální realitu.**

Podobně jako představa vesmíru neměnného v čase bylo silně zakořeněno i pojetí prostoru v té podobě, jak je ve své geometrii zformuloval Eukleides. Po celá tisíciletí se zdálo, že Eukleidova geometrie je jediným možným a správným popisem prostoru, ať už chápaného jako reálné prostředí člověka i celého vesmíru, nebo čistě subjektivní záležitost. Samozřejmost eukleidovského popisu byla natolik silná, že Kant — ve svém kritickém, filosofickém období — postuluje prostor (a čas) jako subjektivní apriorní formy nazírání, jejichž vzorem je prostor eukleidovský.<sup>4</sup> Prostor je u Kanta jen schopností našeho mozku uspořádat

<sup>1</sup> Nicolai Copernici de hypothesisibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus.

<sup>2</sup> Podle Josef Haubelt: Mikuláš Koperník, Praha 1974, s. 34–35.

<sup>3</sup> Tamtéž, s. 36.

<sup>4</sup> Samozřejmost však jistě nebyla jediným a ani nemohla být dostačujícím argumentem pro

přicházející data do souvislosti odpovídajících geometrickému názoru. Vlastně tak **zतोtožňuje geometrii a prostor**, který je v ní popisován, přičemž ani geometrie a ani prostor neexistují mimo naše rozvažování, nepatří světu fyzikální reality.

Formulace neeukleidovských geometrií, jejichž nedílnou součástí je postulování zakřiveného prostoru (a v případě třech rozměrů je to prostor již ne-názorný, ne-smyslový), představuje zpočátku pouze námitku proti apriorismu, avšak později ve spojení s fyzikálními teoriemi jsou neeukleidovské geometrie hlavním argumentem proti apriorně chápanému prostoru, který je v podstatě prostorem univerzálním a absolutním (je dán všem subjektům již před jakoukoli zkušeností.)

Spojení geometrie a fyziky není stále častějšími úvahami o neeukleidovských geometriích narušováno, ale přesouvá se postupně na jinou úroveň, na které se sjednocují obě dřívější apriorní formy nazírání — prostor a čas — v jeden celek.

Základním prvkem tohoto celku je *událost*, přesně charakterizující pobyt částice z hlediska místa a času. Čtyři číselné údaje — tři prostorové souřadnice a jedna časová — událost plně definují a ta takto popsána dostává jméno *světobod*. Pohyb může být v tomto konceptu vysvětlen jako posloupnost světobodů, která dostává název *světočára*. Je-li tato světočára přímkou, jedná se o eukleidovskou geometrii a plochý prostor, je-li křivkou (zakřivenou pod vlivem tíhového pole) ocitáme se v zakřiveném prostoru. Tento prostor již není absolutní entitou, ale spolu s časem vytváří jednotné čtyřrozměrné kontinuum — svět.

Když později Einstein buduje první model vesmíru postavený na relativistické teorii, ukazuje se ovšem, že jednotnost tohoto kontinua není absolutní, neboť jeho jednotlivé složky nejsou naprosto rovnoprávné. Jsou-li všechny světočáry vesmíru zakřiveny shodným způsobem, je i světový prostor zakřivený jako celek, což v určitém případě vytváří teoretickou možnost vrátit se po cestování v tomto vesmíru do výchozího bodu. Je tedy možné vrátit se po křivce do stejného (výchozího) bodu, ale bude to již v jiném čase. V tomto Einsteinově cylindrickém vesmíru je zakřiven pouze prostor, nikoli čas.

Námítky proti absolutnosti a univerzálnosti prostoru se ovšem ke konci 19. století stále častěji objevují i v rovině fyzikální. Souvisejí zejména s novými fyzikálními teoriemi, které jsou zcela mimo teoretický rámec převládající klasické fyziky vybudované právě na absolutních entitách času, prostoru, hmoty.

Sílu tradice klasických představ o prostoru může dokumentovat i jedno nedorozumění. Jedním z kritiků newtonovského pojetí prostoru byl i fyzik a filosof Ernst Mach, který odmítnutý absolutní prostor nahrazuje vzájemnou interakcí těles. Zažitost tradičních představ potom může ilustrovat Leninova kritika Ma-

---

tvzení, že prostor je záležitostí subjektu. Evidentnost čehokoli může stejně tak vést k pře-svědčení, že je to objektivní a proto pro všechny subjekty dané stejným způsobem.

cha, ze které je patrné, že kritik zaměňuje Machovo odmítnutí *absolutního* prostoru za popření prostoru *objektivního*.

Když Lenin volně cituje a komentuje pasáže z Machovy Mechaniky uvádí mimo jiné: „V moderní fyzice, praví, se udržuje ještě Newtonův názor o absolutním čase a prostoru, o čase a prostoru jako takových. Tento názor se ‚nám‘ zdá nesmyslný, pokračuje Mach a zřejmě netuší, že jsou na světě materialisté a materialistická theorie poznání. V praxi byl však tento názor *neškodný* (unschändlich), a proto nebyl dlouho podroben kritice.“<sup>5</sup> Lenin tak upozorňuje na ústřední myšlenku Machovy práce, tj. na kritiku newtonovského pojetí prostoru a času jako absolutních entit, které se stalo „obecným majetkem“ v praxi klasické fyziky plně vyhovujícím. Nevnímá to však jako kritiku pojetí prostoru v rámci určité fyzikální koncepce, ale jako útok právě na ten „obecný majetek“. Newtonovo pojetí Lenin ztotožňuje s materialistickým názorem a během několika slov tak Machovi podsouvá „naivní poznámku o neškodnosti materialismu“. Proč je Lenin tak rozhořčený Machovou kritikou Newtona, plně osvětluje věta téhož odstavce: „„Neškodným` může být materialistický názor na objektivní reálnost času a prostoru jen proto, že přírodní vědy *nevycházejí* za hranice času a prostoru, za hranice materiálního světa, ...“<sup>6</sup>

Absolutní prostor je totiž pro Lenina totéž co materialistická představa objektivního prostoru, a proto, když se Mach snaží nepopírat objektivnost fyzikálních elementů se současnou kritikou jejich absolutnosti, vyslouží si Leninův výsměch pro nedůslednost.

Leninovo nepochopení Machovy kritiky a celé toto nedorozumění, ke kterému dochází právě v době formulace teorie relativity (resp. tři roky po publikaci klíčového Einsteinova článku) a není uvedeno na pravou míru ani po formulaci obecné teorie relativity (v roce 1920 přidává Lenin k Materialismu a empirio-kriticizmu pouze několikařádkovou předmluvu mířící na ruské soudruhy), může sloužit jako vzorová ukázka přesvědčení o totožnosti klasických představ o prostoru a čase s jedinou možnou a správnou interpretací skutečnosti.

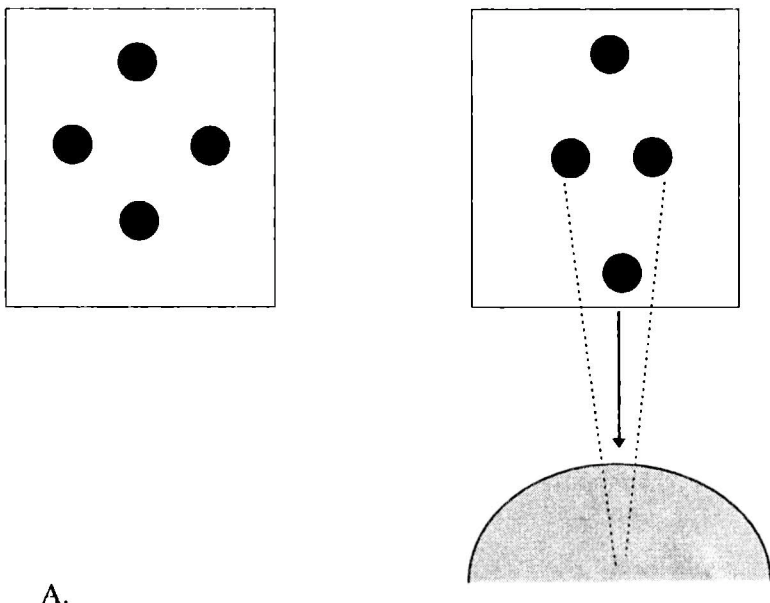
Ovšem i Einstein zaujímá naprosto odmítavý postoj vůči pozitivismu a samotnému Machovi pokud jde o jeho filosofické závěry. (Na zasedání Francouzské filosofické společnosti Einstein měl hodnotit Macha slovy: to je ubohý filosof.<sup>7</sup> Na druhé straně ale zdůrazňuje kladný vztah k Machově kritice newtonovského pojetí absolutního prostoru, která mu je výchozím bodem pro nové úvahy o prostoru a čase. S dalšími Machovými vývody však již zase nesouhlasí. Machův princip (svět se vysvětluje vzájemnou interakcí těles, nikoli jako u Newtona změnou rychlosti, či polybového stavu těles) ano, machismus však ne. Sám Mach naopak nikdy neuznal teorii relativity a odmítal být považován za jistý impuls pro její vznik, či jakkoli jinak s ní být spojován.

<sup>5</sup> Lenin, V. I.: *Materialismus a empirio-kriticizmus*, Praha 1952, s. 164.

<sup>6</sup> Tamtéž.

<sup>7</sup> B. G. Kuzněčov: *Einstein, život, smrt, nesmrtnost*, Praha 1984, s. 313–314.

Nesporným výchozím teoretickým bodem moderní kosmologie se přese všechno nakonec stává obecná teorie relativity formulovaná Einsteinem bezprostředně po konstituování speciální teorie relativity. Newtonovo pojetí gravitace jako síly, která momentálně a dočasně působí mezi dvěma či více tělesy, nahrazuje Einstein představou gravitace jako elementárního projevu prostoru



A.

B.

a času s nimi bezprostředně spjatého. Uvedme si jeden z často při této příležitosti používaných příkladů myšlenkového experimentu, tzv. Einsteinovy zdviže.<sup>8</sup> Představme si, že ve výtahu, jehož lano je přestřižené, a který se tudíž ocitá ve volném pádu v gravitačním poli Země, máme čtyři tělesa bez jakéhokoli pevného spojení, rozmístěná do tvaru kosočtverce. Podle výsledků Galileových pokusů s volným pádem, které nám říkají, že rychlost pádu tělesa nezávisí na jejich hmotnosti, začnou naše tělesa tvořící vrcholy kosočtverce padat stejnou rychlostí, jakou padá i samotný výtah. To znamená, že počáteční tvar obrazce by se neměl změnit (obr. A).

Ovšem Země není plochá a její zakřivení způsobuje, že dráhy horizontálně od sebe vzdálených těles se k sobě, jak směřují ke středu Země jako středu přitahování, přibližují. Těleso, které je nejnižší, se ocitá v nejsilnějším gravitačním poli — zcela podle Newtonova zákona o poklesu intenzity gravitačního pole se vzdáleností — a padá o něco rychleji a tento rozdíl roste s časem. Původní tvar kosočtverce se tak s časem mění. Postupně se protahuje a zplošťuje (obr. B).

<sup>8</sup> P. C. W. Davies: *The Edge of Infinity*, Londýn 1981. In: J. Demaret. *L'univers. Les théories cosmologiques contemporaines*, Mail 1991, s. 39–40.



Příčiny, které jsou odpovědné za deformování tvaru kosočtverce, je třeba hledat v nehomogenitě gravitačního pole — jazykem newtonovské fyziky: jedná se o slapové síly, tytéž, které jsou odpovědné např. za příliv a odliv.

Protože těmto změnám podléhají všechna tělesa nezávisle na jejich hmotnosti či složení, není neodůvodněné předpokládat, že to, co nazýváme „gravitační silou“, je ve skutečnosti něco poněkud jiného, než síla v běžném smyslu slova. Zdá se mnohem přirozenější chápat ji jako vlastnost prostoru. Změny ve tvaru kosočtverce neznamenají nic jiného, než pohyb v zakřiveném prostoru. Opustit myšlenku gravitace jako síly a nahradit ji popisem v jazyce geometrie, to je revoluční převrat znamenající počátek nové fyziky.

Věda počátku 20. století takto završuje historický vývoj našich představ o prostoru teorií, která **ztotožňuje fyziku a geometrii**.

Empirické potvrzení ideje zakřiveného prostoru přichází poměrně záhy po formulaci obecné teorie relativity. V roce 1919 je změřeno zakřivení světelných paprsků procházejících gravitačním polem Slunce a výsledky byly v dostatečném souhlasu s předpovědí OTR.

#### *Od Démokrita po Kanta*

(Démokritos — Eukleides — Newton — Kant)

prázdnota — abstraktnost prázdnoty — absol. prostoru — apriornost prostoru

sledujeme *A. proces „vyprazdňování“ pojmu prostor*

věc — měření — abstrakce — konstrukce.

#### *Od Riemana po Einsteina*

(Rieman, Lobačevskij — Minkowski — Mach — Einstein)

neeucl. geom. — jednotný prostoročas — konec absol. prostoru — fyzikál. prostoročas

probíhá *B. proces naplňování prázdne abstrakce (pojmu prostor)*

konstrukce — aplikace — měření — realita .

## L'ESPACE COMME LA RELATION ENTRE LA GÉOMÉTRIE ET LA PHYSIQUE

L'auteur veut montrer au fond de l'histoire de la philosophie et de la science la rôle de la géométrie et de la physique dans les avatars de la notion de l'espace.

1. C'est chez les pythagoriciens ou nous pouvons trouver le point de départ. Les pythagoriciens ont créés des modèles du système solaire et de l'Univers tout entier absolument indépendantes de la réalité physique. *La géométrie reste sans relation avec la physique.*

2. Aristote a changé le point de vue très radicalement. Des lors des systèmes géométriques (théoriques) doivent suivre des données empiriques. *La physique détermine la géométrie.*

3. Après Copernicus, cela-veut dire après la création le système héliocentrique qui, ce dernier, était crée via les modifications des systèmes théoriques — des épicycles — c'était *la géométrie qui détermine la physique.*

4. Une autre voie nous pouvons suivre avec Kant chez qui *la géométrie et l'espace sont identiques* dans les formes à priori.

5. Dans la sciences moderne nous voyons encore une autre identité. Grâce à la théorie relativiste d'Einstein nous considérons la géométrie (surtout la géométrie non-éuclidienne) comme une description d'espace réel; mais on peut aussi dire que, selon cette théorie, les changements physiques — gravitationnelles p.e. — sont du même ordre comme les changements géométriques. *La physique et la géométrie sont identiques.*

